

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Вятский государственный университет»

Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук

БИОДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ

Материалы
XVI Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием
3–5 декабря 2018 г.

Книга 1

Киров 2018

УДК 501.1(082)
Б 632

XVI Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием
«Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем»
проводится в рамках Программы развития
ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»

Печатается по рекомендации Научного совета ВятГУ

Ответственный редактор:

Т. Я. Ашихмина, д-р техн. наук, профессор, зав. НИЛ биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и Вятского государственного университета

Редакционная коллегия:

С. В. Дёгтева, д-р биол. наук, **С. Г. Литвинец**, доцент, к. с.-х. н., **Т. Я. Ашихмина**, профессор, д-р техн. наук, **Л. И. Домрачева**, профессор, д-р биол. наук, **Л. В. Кондакова**, профессор, д-р биол. наук, **И. Г. Широких**, с. н. с., д-р биол. наук, **Е. В. Дабах**, доцент, канд. биол. наук, **Е. А. Домнина**, доцент, канд. биол. наук, **Г. Я. Кантор**, канд. техн. наук, **Т. И. Кутявина**, канд. биол. наук, **С. В. Пестов**, канд. биол. наук, **С. Г. Скугорева**, канд. биол. наук, **А. И. Фокина**, канд. биол. наук, **С. В. Шабалкина**, канд. биол. наук, **Е. Г. Шушканова** доцент, канд. биол. наук.

Б 632 Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем :
Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием. Книга 1. (г. Киров, 3–5 декабря 2018 г.).
Киров : ВятГУ, 2018. 323 с.

ISBN 978-5-98228-183-8

В сборник материалов XVI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем» вошли материалы, которые посвящены изучению экологического состояния окружающей природной среды в регионах РФ. Особое внимание уделено методам оценки природных сред и объектов.

Значительное место в сборнике занимают материалы по устойчивости и адаптации растений, животных и микроорганизмов к действию неблагоприятных факторов среды. Представлены материалы по химии и экологии почв, а также освещены отдельные аспекты в области здоровья человека.

Сборник материалов конференции предназначен для научных работников, преподавателей, специалистов природоохранных служб и ведомств, аспирантов, студентов высших учебных заведений.

Благодарим руководство Филиала «КЧХК» АО «ОКХ «УРАЛХИМ» в г. Кирово-Чепецке за партнерство и сотрудничество.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

УДК 501.1(082)

ISBN 978-5-98228-183-8

© Вятский государственный университет
(ВятГУ), 2018

Таким образом, различия в растительном покрове и продуктивности аа-па болота обусловлены гетеротрофностью и специфичностью эдафических условий разных его участков. Установлено, что масса органического вещества в понижениях исследованного нами болота в 2 раза ниже, чем в сходных сообществах болот средней тайги, в силу деградации мохового покрова или его разреженности [4]. Содержание углерода в олиготрофных кустарничково-морошково-сфагновых кочковатых сообществах аапа болота имеет сходные значения с аналогичными участками среднетаежных болотных экосистем. При этом высокое обилие *Carex lasiocarpa* и *Betula nana* на участках низких гряд приводит к двукратному увеличению органического вещества подземной части растений, по сравнению с кочками и грядами болот средней тайги.

Работа выполнена в рамках темы НИР Института биологии Коми НЦ УрО РАН «Пространственно-временная динамика структуры и продуктивности фитоценозов лесных и болотных экосистем на европейском Северо-Востоке России», № АААА-А17-117122090014-8.

Литература

1. Углерод в экосистемах лесов и болот России / Под ред. В. А. Алексеева, Р. А. Бердси. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 1994. 532 с.
2. Титлянова А. А. Чистая первичная продукция травяных и болотных экосистем // Сиб. экол. Журнал. 2007. № 5. С. 763–770.
3. Купцова В. А., Копотева Т. А. Структура фитомассы и продукция торфяных болот Среднеамурской низменности в разных условиях увлажнения // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее: Материалы IV Междунар. полевого симпозиума. Новосибирск, 2014. С. 194–196.
4. Углерод в лесных и болотных экосистемах ООПТ Республики Коми / Под ред. К. С. Бобковой, С. В. Загировой. Сыктывкар: КомиНЦ УрО РАН, 2014. 202 с.
5. Юрковская Т. К. География и картография растительности болот Европейской России и сопредельных территорий / Под ред. Г. А. Елиной. СПб.: БИН, 1992. 254 с.
6. Титлянова А. А., Кудряшова С. Я., Косых Н. П., Шибарева С. В. Биологический круговорот углерода и его изменение под влиянием деятельности человека на территории Южной Сибири // Почвоведение. 2005. № 10. С. 1240–1250.

СИСТЕМА БИОЭЛЕКТРОННОЙ РЕГИСТРАЦИИ КАЧЕСТВА ВОДЫ НА ОСНОВЕ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЫБ

**О. В. Никитин¹, Д. Д. Гребенищикова², А. О. Белов¹,
Э. И. Насырова¹, В. З. Латыпова¹**

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, olnova@mail.ru

² Лицей № 121 имени Героя Советского Союза С. А. Ахтямова

Актуальной проблемой обеспечения экологической безопасности поверхностных вод является поиск и разработка технологий, обеспечивающих возможность создания в акваториях с повышенной нагрузкой «систем раннего биологического предупреждения», предназначенных для оперативного выявления нештатных и чрезвычайных экологических ситуаций, как природно-

го, так и антропогенного характера, представляющих опасность для экосистем и здоровья человека (техногенных аварий, катастроф, разливов нефти, несанкционированных залповых сбросов неочищенных сточных вод, загрязнения цианотоксинами и т.п.) [1]. В разработке систем раннего биологического предупреждения применяется принцип приборного биотестирования, когда тест-организмы (биосенсоры), служат оперативными сигнализаторами возникновения экологически опасного уровня загрязнения воды, а регистрация функциональных показателей организмов осуществляется в автоматическом режиме аппаратной частью системы без участия оператора.

В качестве функциональных показателей наиболее часто регистрируются параметры сердцебиения, движения частей тела, оптической плотности среды. Например, в России, начиная с 2005 года на водозаборных сооружениях Санкт-Петербурга, а с 2010 года также на водозаборных сооружениях МУП «Водоканал» г. Хабаровска, применяются системы производственного биологического мониторинга качества воды «БиоАргус-W» по регистрации сердцебиения ракообразных [2]. Подобный подход позволяет выявлять опасную ситуацию в том случае, когда традиционные методы физико-химического мониторинга могут давать сбои. Это связано с тем, что традиционные подходы ориентированы на определение регламентированного ограниченного перечня показателей. В случае появления в воде ингредиентов, не учитываемых при стандартном контроле, повышается уровень экологических рисков, что может привести к причинению вреда как здоровью человека, так и экосистемам. Подходы биологического мониторинга, основанные на интегральной оценке качества среды, могут зарегистрировать опасность на самых ранних этапах, для самого широкого перечня загрязняющих соединений, обеспечивая таким образом возможность оперативной реакции на сложившуюся ситуацию и как следствие – обеспечивая экологическую безопасность поверхностных вод и понижая уровень экологического риска.

В настоящее время в качестве биоиндикаторов в системах раннего предупреждения преимущественно используют рыб, моллюсков и ракообразных [3]. Так, в коммерчески реализуемой системе «Fish Toximeter» (bbe Moldaenke, Германия) в проточном аквариуме (27 л, водообмен 50–150 л/ч) осуществляется наблюдение за плавательной активностью рыб (6-8 шт., размером 4–6 см), контролируются такие параметры как: средняя скорость, число активных рыб, их размер, положение рыб в аквариуме и некоторые другие [4]. Существенным недостатком является высокая стоимость системы «Fish Toximeter», которая в базовой комплектации составляет около 5 млн руб. Российские аналоги систем, использующих компьютерное зрение, для слежения за рыбами – отсутствуют.

В связи с чем, цель данной работы – разработать систему биоэлектронной регистрации качества вод на основе поведенческих характеристик рыб.

Материалы и методы. Система биоэлектронной регистрации. Ранее на кафедре прикладной экологии КФУ была разработана система для слежения за поведенческими характеристиками дафний – «TrackTox», при помощи

которой были получены результаты поведенческого отклика на присутствие различных токсикантов [5–8], однако конструктивные особенности системы не позволяли использовать ее для слежения за рыбами, поэтому первоначальной задачей было выбрать необходимые компоненты системы и подобрать подходящие параметры наблюдения: обеспечить оптимальное размещение системы видеофиксации, выбрать достаточный объем тестовой камеры – аквариума, разместить систему освещения с достаточными характеристиками, обеспечить контрастность фона для корректного детектирования объектов. При этом важным условием было сохранение компактности системы. Дополнительно потребовалось внесение изменений в программное обеспечение, т.к. алгоритмы регистрации дафний не подходили для корректной регистрации рыб.

Поведенческие реакции фиксировались в контрольных условиях и в условиях с добавленным токсикантом, продолжительность съемки составляла 30 минут и 260 минут соответственно (опробовано 12 тест-организмов в контрольных условиях и 6 в условиях токсической нагрузки).

Тест-объект. В качестве объекта наблюдения были выбраны рыбы *Danio rerio* (сем. Cyprinidae – Карповые), один из наиболее часто используемых видов рыб в экотоксикологических исследованиях [9]. Так как в случае использования компьютерного зрения важную роль играет контрастность объекта на заднем фоне, для исследования были выбраны не стандартные *Danio rerio*, а генетически модифицированные рыбы GloFish. Отличительной чертой искусственно выведенных генетической модификацией особей от исходной формы является яркая зеленая флуоресцентная окраска. В их ДНК встроены фрагменты ДНК (ген GFP) медузы (*Aequorea victoria*).

Модельный токсикант. В качестве модельного токсиканта нами был выбран пестицид эсфенвалерат ($C_{25}H_{22}ClNO_3$), широко применяемый в сельском хозяйстве. Срабатывает против нервной системы насекомых/членистоногих, приводит к поражению нейронов. При поражении организма проявляются симптомы гипервозбуждения, судорог, а позже паралича [10]. Для организации наблюдений в аквариум с рыбами с 4 л культивационной воды добавлялся пестицид для достижения концентрации 0,03 мг/л (10 ПДК).

Статистическая обработка полученных данных производилась при помощи пакета программ STATISTICA 10.0.

Результаты исследований. Система биоэлектронной регистрации «TrackTox-Fish». В рамках первой задачи был разработан прототип системы биологического мониторинга «TrackTox-Fish» (рис. 1), предназначенный для непрерывного контроля качества воды по характеристикам поведения организмов-биосенсоров – рыб, как в проточном, так и в статическом режимах. Слежение за организмами осуществляется в режиме on-line при помощи технологии компьютерного зрения.



Рис. 1. Составные компоненты системы биоэлектронной регистрации качества воды «TrackTox-Fish»

Система (рис. 1) состоит из климатической камеры (1), обеспечивающей стабильность температурного и светового режимов, внутри которой помещен аквариум с анализируемой водой (2), контроль параметров осуществляется с внешней станции ЭВМ (3). Анализируемая вода, прошедшая первоначальную аэрацию и фильтрацию (4), подается при помощи насоса (5) в аквариум и оценивается тест-объектами, за которыми проводится непрерывное наблюдение при помощи видеосистемы (6). В качестве организмов-биосенсоров выступают рыбы (7), в нашем случае *Danio rerio*, но возможно использование и других видов, например, гуппи. Поведение тест-организмов оценивается при помощи технологии компьютерного зрения внешней компьютерной станцией. Основная регистрируемая реакция – скорость плавания, дополнительно оценивается распределение рыб в аквариуме (координаты, глубина плавания), а также определяется ориентация тела рыбы в пространстве (2 – рыба находится горизонтально, 1 – рыба находится в вертикальном положении). Поступающая информация автоматически обрабатывается, формируется оценка качества воды и визуализируется на экране (8).

Параметры плавательной активности Danio rerio в нормальных условиях. Параметры плавательной активности рыб регистрировались в аквариуме с 4 литрами чистой культивационной воды, полученные данные трактовались как «контрольные» для последующего сравнения. Проведенные наблюдения позволили получить характеристики плавания рыб в нормальных условиях. Всего в контрольных условиях было получено и проанализировано 72495 единичных плавательных отрезков данио.

Медианная скорость плавания рыб находилась в диапазоне 1,83–2,27 см/с, не сильно различаясь между вариантами наблюдений (без статистически значимых различий). Плавание рыб в аквариуме отличалось однородностью и однотипностью движений – рыбы перемещались из одной части аквариума в другую, не отдавая предпочтения какой-либо области, основную часть времени держась в середине аквариума (медиана глубины плавания находилась в пределах 2,73–5,20 см). В контрольных условиях данио преиму-

щественно находились в горизонтальном положении (среднее значение показателя ориентации – 1,83–1,93).

Параметры плавательной активности Danio rerio в токсических условиях. Для изучения токсических условий в аквариум добавлялся эсфенвалерат. Поведение рыб при этом начиналось меняться с первых минут наблюдения (рис. 2).

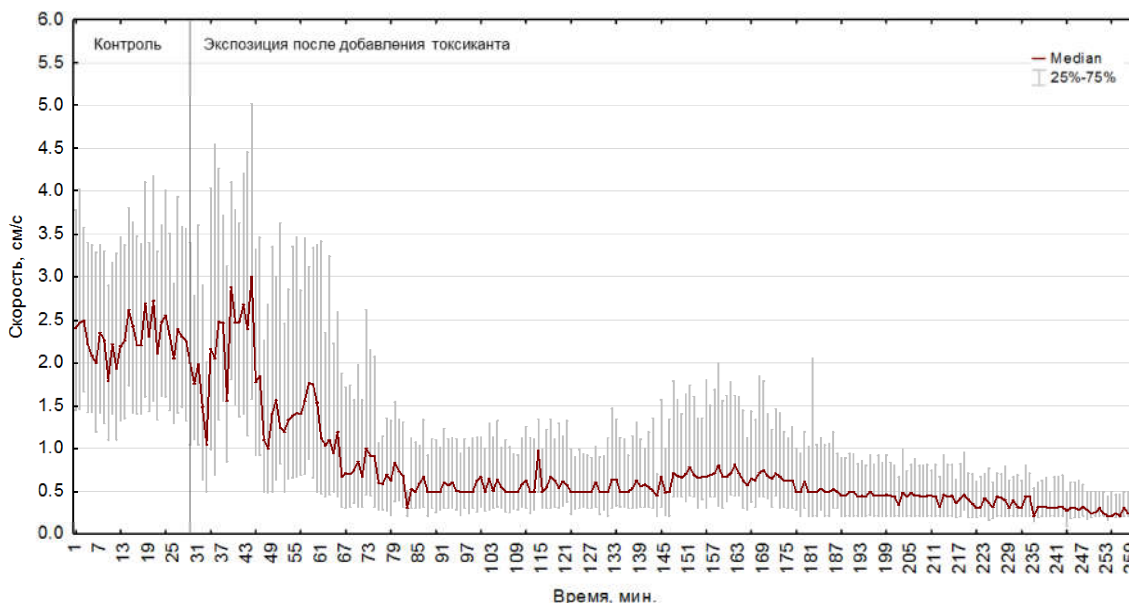


Рис. 2. Медианная скорость плавания *Danio rerio* в условиях эксперимента с эсфенвалератом (1–30 минута – контрольные условия, 31–260 минута – после внесения токсиканта), группировка данных – 1 минута

Появились новые, ранее не характерные особенности плавательной активности: «тонущие» движения, когда рыба начинала однородно погружаться в вертикальном положении, концентрирование у поверхности на протяжении продолжительного времени (что может косвенно отражать воздействие пестицида на дыхательную систему рыб). С 200 минуты рыбы практически всё время находились в пределах дна, лишь изредка совершая плавательные движения. Всего в экспериментальных условиях было получено и проанализировано 159801 единичных плавательных отрезков данио.

Если сравнить данные по скорости плавания данио в контрольных, предшествующих эксперименту, условиях (медиана – 2,27 см/с) с данными эксперимента по индексу токсичности ($T, \% = 100 \cdot (K - O) / K$), то можно заметить превышение границы в 50% токсичности начиная с третьей минуты эксперимента после внесения эсфенвалерата. Стабильно постоянное превышения границы в 50% наблюдается с 31-ой минуты эксперимента. Превышение границы в 70 и 80% – с 51 и с 161 минуты эксперимента соответственно. В то же время, при поминутном сравнении скорости плавания по аналогичной схеме с контрольными условиями дает значение индекса токсичности в пределах $-20 \div 20\%$.

Таким образом, предложенный подход позволяет регистрировать наличие токсиканта с достаточно высокой вероятностью. Повысить чувстви-

ность можно при комбинировании «тревожной» информации для различных параметров плавательной активности рыб.

Работа выполнена при финансовой поддержке Казанского (Приволжского) федерального университета.

Литература

1. Холодкевич С. В., Шаров А. Н., Кузнецова Т. В. Перспективы и проблемы использования биоэлектронных систем в мониторинге состояния экологической безопасности акваторий финского залива // Региональная экология. 2015. № 1 (36). С. 66–76.
2. Системы и технологии раннего биологического оповещения общей токсичности воды / ООО НИЦ «Экоконтур» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://ecocontour.ru/produkciya_2, 2012.
3. Kokkali V., van Delft W. Overview of commercially available bioassays for assessing chemical toxicity in aqueous samples // TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2014. Vol. 61. P. 133–155.
4. The Fish Toximeter. Continuous video analysis of fish behaviour for toxicity detection. Schwentinental: bbe Moldaenke, 2017. 2 p.
5. Nikitin O. Aqueous medium toxicity assessment by *Daphnia magna* swimming activity change // Advances in Environmental Biology. 2014. Vol. 8(13). P. 74–78.
6. Nikitin O. V., Petrova V. M., Latypova V. Z. Bioassay of pyrethroid insecticide esfenvalerate using fractal analysis of *Daphnia magna* motion // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2015. Vol. 6 (6). P. 1729–1736.
7. Nikitin O. V., Nasyrova E. I., Nuriakhmetova V. R., Stepanova N. Yu., Danilova N. V., Latypova V. Z. Toxicity assessment of polluted sediments using swimming behavior alteration test with *Daphnia magna* // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 107. Is.1. Art. No. 012068.
8. Никитин О. В., Насырова Э. И. Влияние микроцистинов на поведенческую активность дафний // Экологические проблемы бассейнов крупных рек – 6: Материалы международного конф. Тольятти: Анна, 2018. С. 230–232.
9. Rennekamp A. J., Peterson R. T. 15 years of zebrafish chemical screening // Current Opinion in Chemical Biology. 2015. Vol. 24. P. 58–70.
10. Environmental fate and effects division office of pesticide programs Washington. Risks of esfenvalerate use to federally threatened california red-legged frog. 2008. P. 21–22.

СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В ТКАНЯХ И ОРГАНАХ РЫБ РАЗНЫХ ВОДОЕМОВ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Е. С. Иванова, Д. С. Копылов

Череповецкий государственный университет, StepinaElena@yandex.ru

Ртуть и ее соединения относятся к числу наиболее опасных для живых организмов токсических веществ. Неорганические соединения ртути поступают в естественные водоемы, где трансформируются в более токсичные метилированные соединения, которые интенсивнее, аккумулируются гидробионтами, чем неорганические [1]. Высокие уровни содержания ртути в рыбе (как высшем звене трофической цепи) отмечаются даже в тех водоемах, которые не расположены в зонах повышенного естественного ртутного фона и находятся вдали от локальных источников ртутного загрязнения [2].